

IoT共通基盤技術の確立・実証（PRISM追加課題）

実施研究機関：富士通、SMK、北陸先端科学技術大学院大学、KDDI、ワイズシステム、NEC

研究開発期間：H30年度

研究開発費：H30年6.1億円

担当課室名：国際戦略局 通信規格課

1. 研究開発概要（1/2）

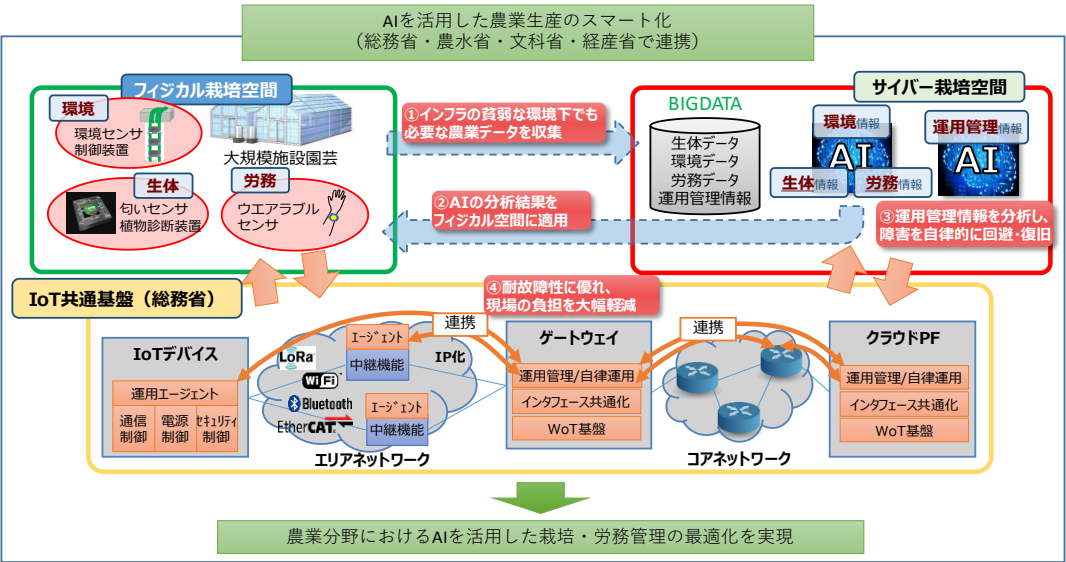
1. 目的

第5期科学技術基本計画で掲げられた目指すべき未来社会の姿である「Society5.0」の実現に向けて、内閣府官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）において特定された追加課題として、農業分野等へのIoT（Internet of Things）基盤技術の早期社会実装を可能にするIoT デバイス基盤技術やIoT エリアネットワーク（IoT デバイスとゲートウェイ間のネットワーク）自律運用技術等の研究開発を実施し、産学官連携による実証を通じて、IoT ネットワークの大規模な運用を可能とし、耐障害性等に優れた汎用的なIoT 基盤技術を確立し、国際標準化を推進するとともに、当該技術の社会実装を加速する。

2. 政策的位置付け

「科学技術イノベーション官民投資拡大イニシアティブ」（平成 28 年 12 月 21 日）において Society 5.0 の実現に資する科学技術予算の量的・質的拡大を目指すこととされ、各省主導の施策を民間投資誘発効果の高い分野へ誘導すること等を目的として「官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）」が内閣府に創設された。また、総合科学技術・イノベーション会議において、PRISM 研究開発投資ターゲット領域として、「サイバー空間基盤技術（AI/IoT/ビッグデータ）」等が設定された（平成 29 年 4 月 21 日）。

PRISM 運営委員会等の議論を経て、省庁連携により PRISM 研究開発投資ターゲット領域の課題解決に挑むこととされ、農業など様々な分野へのIoT の社会実装加速に向けて、省庁連携の下、総務省施策「IoT 共通基盤技術の確立・実証」の追加課題に取り組むことが期待されている。



1. 研究開発概要 (2/2)

3. 目標

農業分野等に IoT の社会実装を加速するためには、IoT の大規模化、長期運用、効率的管理等を可能とする IoT ネットワーク基盤技術の確立が必要である。

このため、本研究開発では、大規模な IoT ネットワークを自律運用させる技術、IoT ネットワークの耐障害性を強化する技術等の研究開発を実施し、産学官連携による実証を通じて、農業分野等に対応した、IoT ネットワークの大規模な運用を可能とし、耐障害性等に優れた汎用的な IoT 基盤技術を確立するとともに、研究成果に関する国際標準化を推進することにより、IoT ネットワークの社会実装を加速することを政策目標とする。

本研究開発では、以下の技術を確立する。

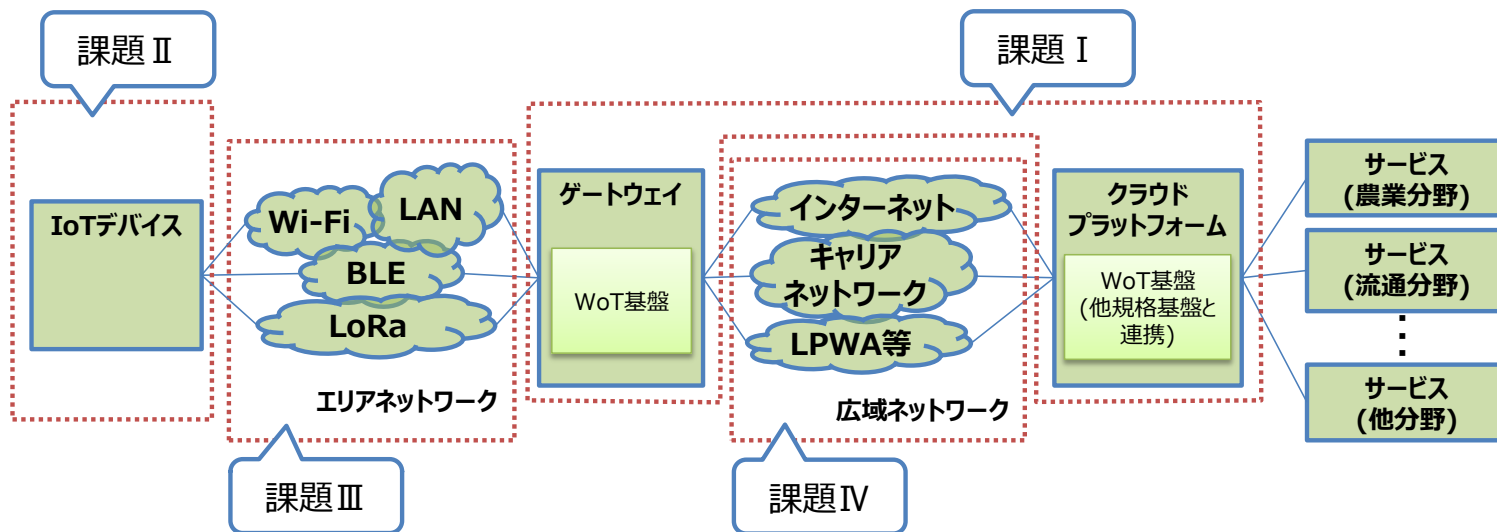
課題Ⅰ. フィジカル・サイバー空間をつなぐ WoT 基盤技術

課題Ⅱ. 設置簡易・長期動作可能な IoT デバイスの共通技術

課題Ⅲ. IoT エリアネットワーク自律運用技術

課題Ⅳ. IoT トラフィックに対応した広域ネットワーク自律運用技術

また、課題ⅠからⅣで開発する技術は、国際電気通信連合 (ITU-T) 研究委員会 20 (SG20) 及び W3C (World Wide Web Consortium) に対して、分野毎に規定されるデータモデルに対応可能なフレームワークの国際標準化提案を実施する。標準化提案は課題Ⅰを中心に実施する。



2. 研究開発成果概要 (1/3)

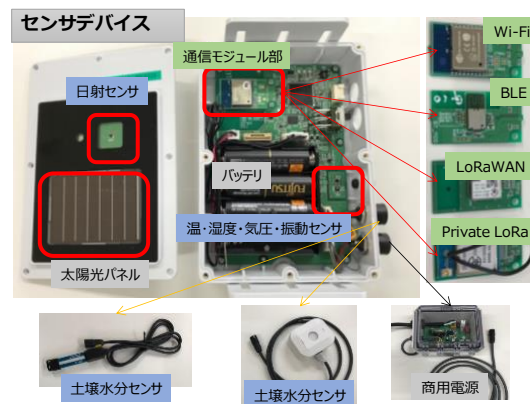
課題		実施内容	成果
課題Ⅰ フィジカル・サイバー空間をつなぐWoT基盤技術	課題ア WoT基盤の開発及び実証環境の構築	・農業生産効率化につながるセンサ1,000台規模のWoT基盤の実証環境の構築 ・基盤技術の普及に向けてセキュリティや詳細の実装方法に関する国際標準化推進	・全国4か所6施設にセンサ1,056台を設置し、WoT規格に準拠した基盤で実証を開始 ・ITU-T SG20及びW3C WoT-WGにて提案を行い、新規標準化課題として承認
	課題イ WoT基盤シミュレータの開発	・WoT基盤シミュレータでの事前検証環境開発 ・デバイス・ネットワークの組合せやトポロジを簡単に設定可能なGUIの開発	・StarBED上に同じ規模のシステム検証環境を実現し、GUIを利用して簡単に利用可能に
課題Ⅱ 設置簡易・長時間動作可能なIoTデバイスの共通技術	課題ア 長期動作デバイスモジュールの開発	・複数の電源供給方式のデバイス共通基盤の開発 ・IoTデバイスの設置簡易化と運用自律化の実現	・バッテリー給電、バッテリーレス方式の共通基盤を、無線LAN、LoRa、BLEの3方式で実現 ・WoT、HTIP応用により、IoTデバイスのゼロコンフィギュレーションとクラウド遠隔監視の実現
	課題イ 自律運用エージェントの開発	・HTIP (ITU-T G.9973) に対応した通信モジュールの開発 ・HTIPエージェントOSSの通信モジュールへの適用	・通信モジュール内にHTIPエージェントを組み込み、ゲートウェイと連携してHTIP完全対応化 ・無線LANとBLE通信モジュールに対して、OSSを適用し動作を確認した

社会実装した施設（4か所6施設）



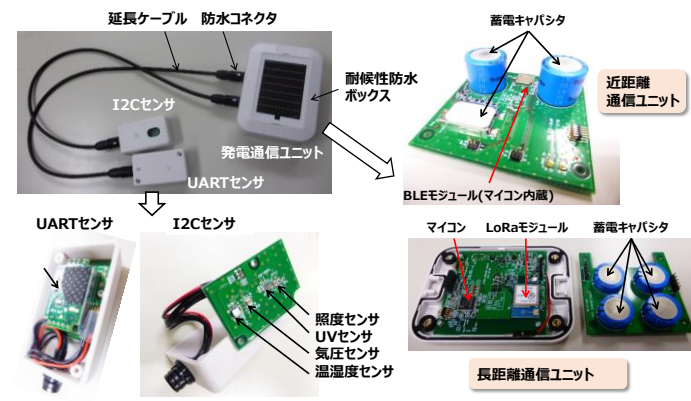
バッテリー給電方式のセンサユニット

双方向通信可能で数か月動作可能



バッテリーレス方式のセンサユニット

片方向通信のみだが、3年以上動作可能

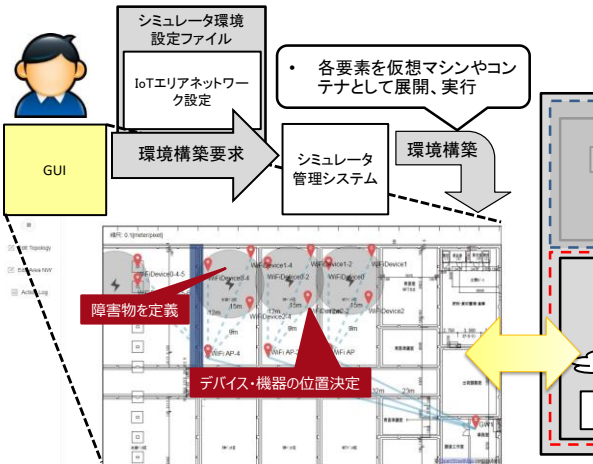


2. 研究開発成果概要 (2/3)

課題		実施内容	成果
課題Ⅲ IoTエリア ネットワーク 自律運用委 技術	課題ア IoTエリアネットワーク シミュレータの開発	・複数通信方式に対応したIoTエリアネットワーク・シミュレータ及びGUIの開発	・デバイス位置、通信方式(無線LAN、BLE)をGUIで指定する通信シミュレータを開発
	課題イ IoTエリアネットワーク 自律運用機器の開発	・HTIPに対応したネットワーク機器の開発 ・HTIPで収集した運用情報から障害検出・原因分析する自律運用技術の開発	・HTIP OSS化と対応したL2スイッチ、APを製品ベースで開発し、実証環境に設置。 ・クラウドに収集した情報から、各施設のトポロジと接続状況をリアルタイム可視化
課題Ⅳ IoTトラフィックに対応した 広域ネットワーク自律 運用技術	課題ア 広域ネットワーク自律 運用技術の開発	・IoTエリアネットワークの状況と連動する広域ネットワークの運用管理技術の開発	・NFVやスライスを監視・制御可能な大規模な疑似環境を実現し、ゲートウェイ運用情報から広域ネットワークの最適化技術を開発
	課題イ ゲートウェイ運用管理 連携技術の開発	・エリアネットワークのトラフィック最適化を実現するゲートウェイ運用管理技術の開発	・LoRaWANのトラフィック制御と広域ネットワーク運用機能と連携するゲートウェイを開発

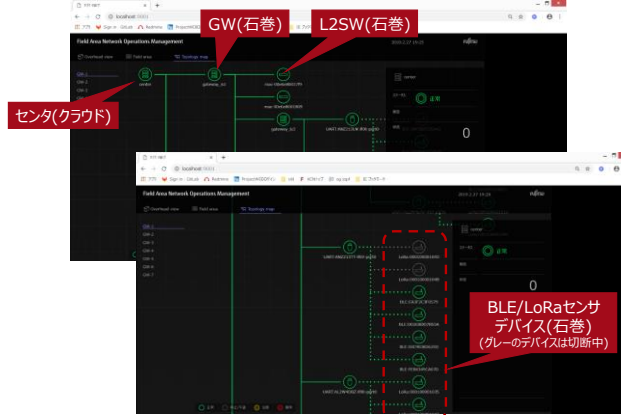
園芸施設における無線環境シミュレーション

GUIを利用して施設レイアウト、ネットワーク機器、IoTデバイス（センサ）配置を入力
複数無線方式が混在する環境の通信シミュレーション



設置機器の自律運用

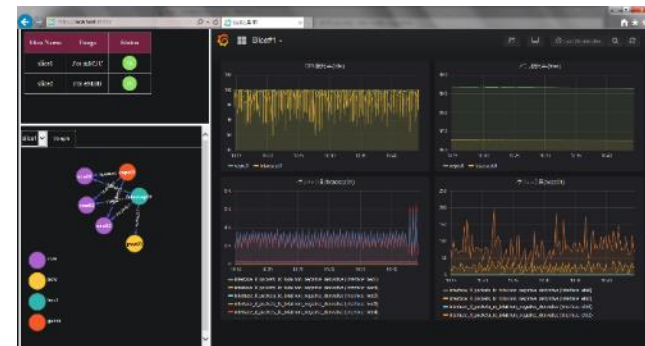
全ての機器がHTIP対応のため、収集したデータからトポロジを表示し、その上に動作状況を可視化



無線通信における障害の有無を、元施策で開発した機械学習アルゴリズムを応用

広域ネットワークのスライス監視画面

スライス毎の構成や統計情報をダッシュボードで可視化
OpenStack上に疑似的な広域ネットワークを構成し、
そこで発生する状況をダッシュボードで可視化。システム
はOSSを中心に構成、実用化時点で適用可能



2. 研究開発成果概要 (3/3)

課題Ⅰ～Ⅳを統合した成果

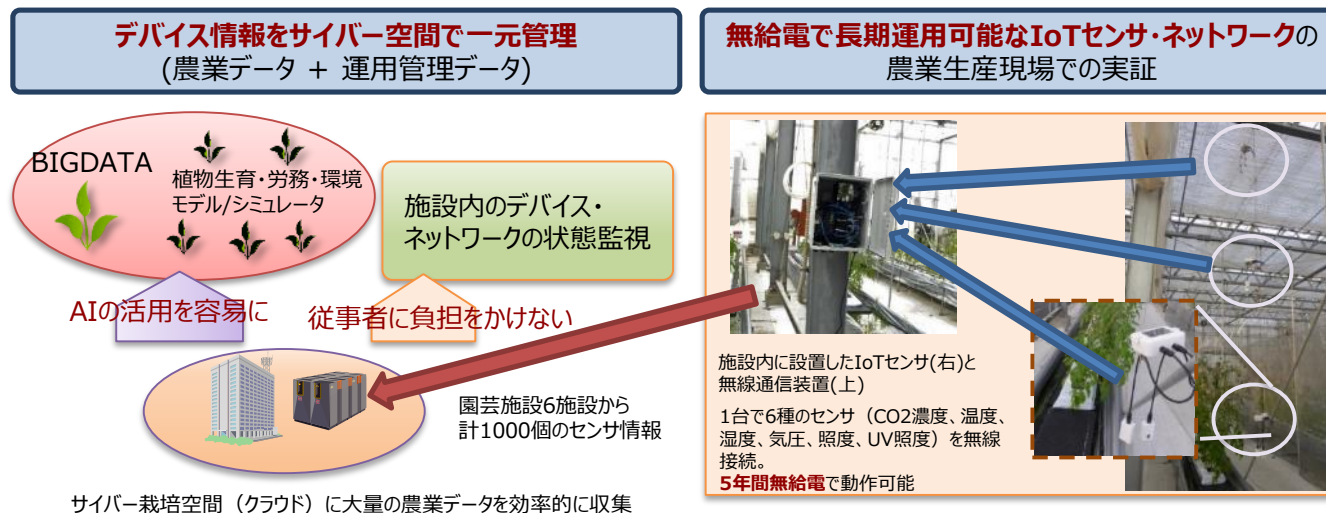
5G時代を見据えたIoT共通基盤の在り方として、(1)IoTデバイスの多様なインタフェースをそのまま受け入れる方法と(2)ネットワークを共通化しIoTデバイスのインタフェースを集約する方法が考えられる。課題Ⅰ～Ⅲのアプローチは、(1)に基づいており現在の設備をそのまま収容する方向であり、エリアネットワークの自律運用の実現が大きな課題である。一方、課題Ⅳを含めたアプローチは、(2)に基づいてデバイス・ネットワークの運用管理を効率化することを第一として、デバイスのインタフェースを中長期的に統合していくアプローチと考えられる。接続するデバイスの種類が少ない場合には後者のアプローチが有効であり、絞りこめない場合には前者のアプローチをとることになる。いずれにしても、インタフェースをどこかで共通化していく方向性であり、WoTはそのインタフェースの候補である。研究開発全体としては、普及に向けたIoTシステムの構築、運用、データ利用の観点から、運用管理とインタフェース共通化を目標としたものであり、大規模な社会実装によって効果を示すことができた。

農業分野PRISMとしての成果

現在、施設園芸に普及する統合制御システムはオランダ製であり、日本の高温多湿地域には合わない部分がある。また、農業従事者によって、多収量、高品質、目的特化などニーズが異なるため、センシングから制御方法までを細かく設定可能であることが求められる。このような背景の下、内閣府官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)において、関連省庁が有する技術を農業用にカスタマイズし、省庁間で連携しながら社会実装することで、農業生産現場における有用性を実証し、AIを活用した農業生産のスマート化へと繋げることとなった。

これを受けて本課題では、農研機構と連携し、こうした多様なニーズに対応するためのセンシング方法について検討し、複数のセンサの同時収集により園芸施設全体でムラがなく正確な制御を実現するセンシング基盤について実現した。センサについては、NIMSと連携し、新しいセンサ(モイスチャセンサ)等の接続を実現した。

以上から、本研究開発を実施したことにより、農業分野におけるAI活用を容易とし、栽培・労務管理の最適化の実現に繋げることができた。

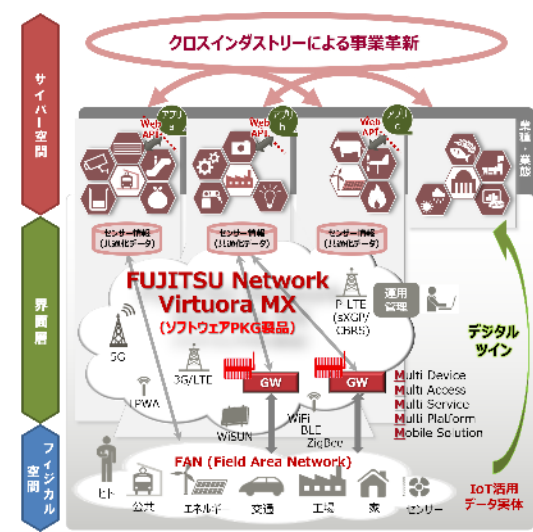


3. 政策目標の達成状況（経済的・社会的な効果）等（1/2）

<政策目標(アウトカム目標)の達成状況>

	指標	数値目標等	現在の進捗状況	達成状況
①	課題Ⅰ WoT基盤技術事業化	1件	富士通よりVirtuora MXとして製品化（PRISM課題で開発したワンタッチプロビジョニング機能を搭載）	1件（完了）
②	エリアネットワークシミュレータ	1件	ソフトウェアを公開。開発に必要なドキュメントを同時にWebサイトに公開	1件（完了）
③	実装ガイドラインの標準化	1件	ITU-T SG20にて承認。発行済み(平成30年度)。	1件（完了）
④	課題Ⅱ センサ製品化	1件	屋外での厳しい環境下で使用可能なセンサユニットを製品化完了。様々なセンサ(加速度、電流、風速等)と組合せ、屋外で5年間使用可能。道路灯の腐食による倒壊を検出するセンサユニットとして1年間実証済み。	1件（完了）
⑤	HTIP対応通信モジュール製品化	1件	様々なセンサユニットに対応可能なHTIP組込みライブラリを整備した920MHz無線通信モジュールの製品化完了。	1件（完了）

WoT基盤技術事業化（富士通）



街路灯倒壊検知センサ（SMK）

街路灯の異常検知センサ。
①電灯切れ（照度異常、漏電検出）、②支柱傾倒検知（腐食、事故）、③風速検知、④気温検知、を実現するセンサー搭載。



HTIP対応通信モジュール（SMK）

920MHz通信モジュールに搭載されるMPUIにHTIPライブラリを実装ライブラリAPIを通じてセンサ運用情報を通知可能



3. 政策目標の達成状況（経済的・社会的な効果）等（2/3）

<政策目標(アウトカム目標)の達成状況>

	指標	数値目標等	現在の進捗状況	達成状況
⑥	課題Ⅲ HTIP対応ネットワーク機器 製品化	1件	HTIP対応L2 Switch (WS-SW2000-02P-2G)と無線LANAP(WS-AP2000-01P-1G)の製品化完了。HTIP対応ネットワーク機器監視ツールシステムの作成。	1件(完了)
⑦	実装ガイドラインの標準化	1件	スマートIoT推進フォーラムを中心に議論を行い、TR-1086(令和3年度)、TR-1092/1093(令和4年度)を発行。 IoTにおける運用情報の収集方式にテーマを拡大し、議論継続中。	1件(完了)
⑧	課題Ⅳ 広域ネットワーク自律運用 事業化	1件	IoT機器を収容する商用ネットワークの監視において、本成果による障害などに対応する自律分散型の運用管理技術を活用した運用監視機能を実装完了。令和6年2月に本機能を用いた商用監視を開始。	1件(完了)
⑨	ゲートウェイ運用技術事業化	1件	既存のLoRaWAN製品へ本運用管理技術を適用し、事業化完了。 市場ニーズを引き続き調査、改良予定。	1件(完了)

HTIP対応ネットワーク機器 (ワイズシステム)

L2スイッチ 無線アクセスポイント



実装ガイドライン (北陸先端大、他)



自律分散型の運用監視技術（KDDI）

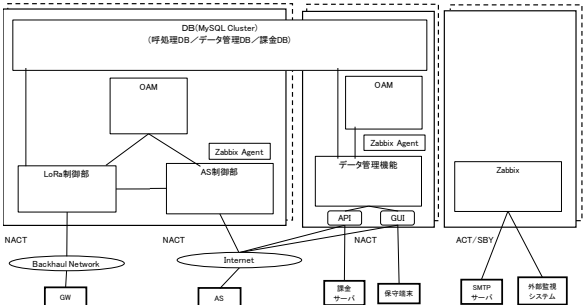
サービス影響判断や被疑箇所特定を瞬時に判断
監視機能では、①契約情報、②対処状況、③障害情報、④俯瞰情報、⑤アラーム情報、などを表示



運用監視画面

ゲートウェイ運用技術（NEC）

LoRaネットワークサーバにより、①最適チャネル選択、②輻輳時の通信タイミング制御、③無線状況による通信最適化制御を実現



LoRaネットワークサーバ構成

3. 政策目標の達成状況（経済的・社会的な効果）等（3/3）

＜新たな市場の形成、売上げの発生（GDP等増大）、国民生活水準の向上＞

・計画した事業化については終了時点で全て完了。

・WoTプラットフォームについて、早期から事業化展開を進め、IoTデバイスを接続するエリアネットワークとインターネットを接続するゲートウェイと、クラウドからIoTデバイスへアクセス・制御するプラットフォーム製品の事業化からスタート。各地に点在するデータセンターにおける空調制御のソリューション化など具体的な適用を行った。

・デバイスに搭載する通信モジュールについては製品化し、一部ビル漏水検知に適用されている。異なるフロアに点在するセンサーを1台のゲートウェイで集約可能であり、漏水センサのように異なるテナントであっても、ビル共通で設置しなければならないシステムへの適用が可能になる。また、工場でも大型の製造機械等の影響を受けずに通信可能であり、安定した通信を確保可能である。

・市場形成について、当時は、IoTへの期待感が非常に高まった時期があったが、現実には生じるコストや投資に対する費用効果が大きくないことから、市場がなかなか拡大しない状況。一方で、ニーズは着実に出てきており、領域ごとにいかに投資を最適化できるかがポイントになってきている。

・本プロジェクトでは、IoTデバイスとしてはセンサ、主にネットワーク部分に着目し、共通の基盤技術を整備してきたが、事業全体をカバーする基盤化が必要となる。

＜知財や国際標準獲得等の推進＞

○WoTの標準化

2020年に勧告化（v1.0）、2023年に改訂（v1.1）を行った。2019年には、第2回WoTワークショップ（主催：シーメンス、ミュンヘン）に参加し、本プロジェクトで開発した基盤の発表とデモを行った。また、同年に福岡で開催されたW3C総会にて、WoT-WGメンバーによる連携デモを展示し、様々な分野のデバイスが同じ基盤の上で動作することを示した。農業ユースケース等もWoTの標準文書に記載済み。

ITU-T SG20にて、本基盤の元の規格であるY.4409の実装ガイドライン文書を勧告化。

○HTIP関連の標準化・人材育成

ITU-T G.9973については、2018年にSG13にて勧告化（改訂）完了。この規格を実装するためのガイドライン文書をTTC（情報通信技術委員会）の技術レポートとして作成し、発行。この内容は、TTCセミナー等を通じて、広報した。また、HTIPのOSSをWeb公開し、これを利用するためのインターネット教育等を実施した。

4. 研究開発成果（アウトプット目標）から生み出された科学的・技術的な効果

<新たな科学技術開発の誘引>

本プロジェクト以前は、電力やネットワークが整備されている屋内環境でのIoT実証が中心であった。本プロジェクトを通じて、屋外での様々な制約を考慮する必要性が明らかになり、その課題を解決することで適用範囲を各段に広げられることが明らかになった。

【屋外環境におけるエリアネットワーク】

○電源・ネットワーク条件が厳しい環境への適用

農業ではセンサー等を設置する場所に電源やネットワークがないことが多いため、本事業では、センサの消費電力によって、バッテリー給電方式とバッテリーレス方式を開発した。農業以外でも条件は異なるが、この2方式でカバーできることが多く、複数の実証実験により検証することができた。

○バッテリーレス方式センサによる完全無線化

バッテリーレス方式に置いては、太陽電池とキャパシタの組み合わせにより、昼間に発生する太陽光発電の余剰電力をキャパシタに蓄電し、夜間も動作する方式になっている。室内灯や夜間の非常灯のわずかな光による発電も考慮し、さらに多くの環境への適用が可能となった。

【新しい通信方式へのHTIP適用】(IoT共通基盤・課題Ⅱと連携)

IoTエリアネットワークで採用が広がる新規格と新しいユースケースへの対応について、TTC等での議論を進めることになった。

○Wi-Fi HaLow/Single Pair Ethernet (SPE)

TTC IoTエリアネットワーク専門委員会では、従来のイーサネットに電源供給可能なSPEや長距離通信可能な920MHzのWi-FiをIoTエリアネットワークで利用する際の、HTIP適用の議論を実施。

○新しいユースケースへの適用

スマートIoT推進フォーラムのエリアネットワークOAMタスクフォースでは、さらに広い農地や集落におけるIoTエリアネットワークへのHTIP適用について議論。これらの議論は、本プロジェクトの参加メンバー（富士通、北陸先端大、ワイズシステム）が中心となりリード。

○運用管理情報のトラフィックの理論的考察

エリアネットワークで利用するネットワーク方式やセンサの接続台数、中継方式（トポロジー）によって、エリアネットワーク自体の通信容量の限界があり、この理論的な限界を明らかにした。

【自然に左右される環境変動への耐性強化】

農業では、日々成育する植物によって、無線の通信状態が変化することがわかっている。IoT運用管理の現場では、こうした現場環境の状態をも検出し、それに合わせた制御を行う必要があることを確認。

○状況を見える化することによって、無線状態や発電量を改善するような手作業を誘導することも必要である。

○屋外での風雨や夏冬の寒暖差などの厳しい環境条件の中で、センサーユニットが動作する必要がある。

5. 副次的な波及効果

<副次的な波及効果>

農業向けに開発した屋外センサとゲートウェイを含むデータ収集システムの応用として、メンバー外企業との連携により様々な用途への展開が図られた。

【様々な環境に対応したセンサーによる新しい領域創出】

○バッテリーレスセンサーを利用した、様々な環境計測(富士通)

棚や壁に貼り付けるだけで設置可能なバッテリーレスセンサによる、植物工場やサーバールームの温湿度計測。この計測にもとづいて空調の制御。

○街路灯支柱の腐食等による倒壊検知(SMK)

複数のセンサ(加速度、電流、風速等)を搭載し、屋外で5年間使用可能なセンサーを開発。道路沿いの街路灯の腐食による倒壊を検出するセンサーユニットとして、1年間実証済み。センサーはインターネット接続を行わず、道路の点検車両が近くを通った際に近距離無線でデータを収集し、タブレットに表示する。

【HTIPによる運用監視システム】

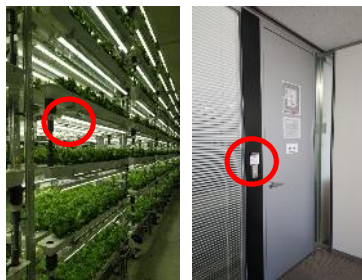
○農村部での獣害監視システム(ワイズシステム)

近くの公共施設、民家にアクセスポイントを設置し、屋外等に設置されるカメラや獣害センサからの情報を収集。専門の職員を配置できないため、カメラ・センサとネットワークの状況をHTIPで遠隔から監視する。獣害監視とシステムの運用管理を兼ねる。

○高速道路における法面崩壊検出システム(富士通)

高速道路建設の際にできる、切土や盛土によって人工的に作られる斜面(法面)が崩れ落ちることを検知するシステム。法面崩壊パターンは複数あり、これを複数のセンサーで検出する。ゲートウェイは、WoTとHTIPをサポートし、LTEでデータを通信。電源として太陽光パネルとバッテリーを使う。

バッテリーレスセンサによる環境計測
(富士通)



植物工場

サーバールーム
(空調制御)

街路灯支柱の倒壊検知
(SMK)



倒壊検知センサー

獣害監視システム (ワイズシステム)



センサーと通信機器

高速道路の法面崩壊検出
(富士通)



地すべりセンサーと
ゲートウェイ機器

6. アウトカム目標の達成に向けた取組計画の達成状況等

＜アウトカム目標の達成に向けた取組計画の達成状況＞（IoT共通基盤・課題Ⅱと共通）

○ビジネスプロデューサによる多方面との連携拡大

ビジネスプロデューサを設置して取りまとめを行う体制としたことで、受託者はそれぞれの課題に集中しながらも常に出口を意識し、全体で一貫性のある研究活動を実施した。

＜周知広報活動の実績＞（IoT共通基盤・課題Ⅱと連携）

○標準化活動を軸にした周知広報活動（富士通、北陸先端大、ワイズシステム）

W3C Web of Things Working Group (WoT-WG)において標準化を推進。農業実証に関しては、WoTのユースケースとしてドキュメントにインプット。具体的な内容は、2019年に開催された2nd workshop on Web of Thingsで発表。同時に開発したIoT共通基盤のデモを実施した。

HTIPについては、日本標準のJJ-300.00の改訂を行うと同時に、対応する国際標準ITU-T G.9973の改訂を行った。また、TTCで実装ガイドラインの策定を行うと同時に、利用可能なOSSの開発・公開を進めている。また、北陸先端大においてはインターン教育のなかで実装体験などを実施。また、HTIPの状況については、TTCで開催されるセミナーにて毎年講演を行った。

＜その他の特記事項に係る履行状況＞（研究開発終了後も行うべきものについて）

○人材育成サービスを展開する合弁会社設立（KDDI）

人材育成や地方自治体DXに強みを持つ企業と共同でデジタル人材育成サービスを展開する合弁会社を設立。課題解決、IoTやDXの企画立案スキルを習得するための実践的なカリキュラムを学べる研修なども実施した。

7. 政策へのフィードバック

＜国家プロジェクトとしての妥当性、プロジェクト設定の妥当性＞

○本事業の開始当初は、IoTへの期待は高まりつつも、複数分野の企業連携が必要であり、成功事例を作ることに苦勞していた時期であった。また、主要国では IoT の研究開発に産学官で取り組んでおり、我が国でとしても本プロジェクトを早急に実施する必要がある、国家プロジェクトとして妥当であるとする。

また、IoTデバイスである様々な装置、デバイスを接続ネットワーク、クラウドへ接続するための中継装置やビルや工場の高効率化の技術を開発する企業など、IoTの様々な関係者が連携するフォーラム等の機会や場が設けられたことは有益であった。

＜プロジェクトの企画立案、実施支援、成果展開への取組み等に関する今後の政策へのフィードバック＞

IoTデバイスを接続するネットワークに関わる事業者と実際に農業等の事業者との間にはギャップがある。このギャップは徐々に小さくなってきているものの、農業にICTを活用している事業者はまだ少ない。IoT/ネットワーク事業者と実際の事業者との間の相互理解が進んでおらず、本事業の成果を実事業に適用する上で、農業側が必要としている機能を提供するためにも、農業側、ICT側の相互理解がとても重要。